

08/01/00
JC685 U.S. PTO

08/01/00
JC685 U.S. PTO

jc686 U.S. PTO
09/630680
08/01/00

PTO/SB/05 (1/98)
Approved for use through 09/30/2000. OMB 0651-0032
Patent and Trademark Office U S DEPARTMENT OF COMMERCE

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

UTILITY PATENT APPLICATION TRANSMITTAL (Only for new nonprovisional applications under 37 CFR 1.53(b))	Attorney Docket No.- 819-405
	First Inventor or Application Identifier Shinichi IMAI
	Title: PLASMA PROCESSING METHOD
	Express Mail Label No.

APPLICATION ELEMENTS See MPEP chapter 600 concerning utility patent application contents.	ADDRESS TO: Assistant Commissioner for Patents Box Patent Application Washington, DC 20231
<p>1. <input checked="" type="checkbox"/> Fee Transmittal Form (e.g., PTO/SB/17) (Submit an original, and a duplicate for fee processing)</p> <p>2. <input checked="" type="checkbox"/> Specification (NON-ENGLISH NO FEE) Total Pages [28] (preferred arrangement set forth below)</p> <ul style="list-style-type: none">- Descriptive title of the Invention- Cross References to Related Applications- Statement Regarding Fed sponsored R & D- Reference to Microfiche Appendix- Background of the Invention- Brief Summary of the Invention- Brief Description of the Drawings (if filed)- Detailed Description- Claim(s)- Abstract of the Disclosure <p>3. <input checked="" type="checkbox"/> Drawing(s) (35 USC 113) (Figs. 1-11) Total Sheets [9]</p> <p>4. <input type="checkbox"/> Oath or Declaration Total Pages [2]</p> <ul style="list-style-type: none">a. <input type="checkbox"/> Newly executed (original or copy)b. <input type="checkbox"/> Copy from a prior application (37 CFR 1.63(d)) (for continuation/divisional with Box 17 completed) [Note Box 5 below]i. <input type="checkbox"/> DELETION OF INVENTOR(S) Signed statement attached deleting inventor(s) named in the prior application, see 37 CFR 1.63(d)(2) and 1.33(b) <p>5. <input type="checkbox"/> Incorporation By Reference (useable if Box 4b is checked) The entire disclosure of the prior application, from which a copy of the oath or declaration is supplied under Box 4b, is considered to be part of the disclosure of the accompanying application and is hereby incorporated by reference therein.</p>	<p>6. <input type="checkbox"/> Microfiche Computer Program (Appendix)</p> <p>7. Nucleotide and/or Amino Acid Sequence Submission (if applicable, all necessary)</p> <ul style="list-style-type: none">a. <input type="checkbox"/> Computer Readable Copyb. <input type="checkbox"/> Paper Copy (identical to computer copy)c. <input type="checkbox"/> Statement verifying identity of above copies <p>ACCOMPANYING APPLICATION PARTS</p> <p>8. <input type="checkbox"/> Assignment Papers (cover sheet & document(s))</p> <p>9. <input type="checkbox"/> 37 CFR 3.73(b) Statement [] Power of Attorney (when there is an assignee)</p> <p>10. <input type="checkbox"/> English Translation Document (if applicable)</p> <p>11. <input type="checkbox"/> Information Disclosure Statement [] Copies of IDS (IDS)/PTO-1449 Citations</p> <p>12. <input type="checkbox"/> Preliminary Amendment</p> <p>13. <input checked="" type="checkbox"/> Return Receipt Postcard (MPEP 503) (Should be specifically itemized)</p> <p>14. <input type="checkbox"/> *Small Entity [] Statement filed in prior application, Statement(s) Status still proper and desired (PTO/SB/09-12)</p> <p>15. <input type="checkbox"/> Certified Copy of Priority Document(s) (if foreign priority is claimed)</p> <p>16. <input type="checkbox"/> Other:</p> <p>*A new statement is required to be entitled to pay small entity fees, except where one has been filed in a prior application and is being relied upon.</p>


17. If a **CONTINUING APPLICATION**, check appropriate box, and supply the requisite information below and in a preliminary amendment.
☐ Continuation ☐ Divisional ☐ Continuation-in-part (CIP) of prior application No. _____
Prior application information: Examiner: _____ Group/Art Unit: _____

18. CORRESPONDENCE ADDRESS

☒ Customer Number or Bar Code Label Customer No. 22204 or ☐ Correspondence address below
(Insert Customer No. or Attach bar code label here)

Name
Firm Nixon Peabody LLP
Address 8180 Greensboro Drive, Suite 800
City McLean State VA Zip Code 22102
Country U S A Telephone (703) 790-9110 FAX (703) 883-0370

Name: **ERIC J. ROBINSON** Registration No. **38,285**

Signature  Date: **August 1, 2000**

Burden Hour Statement This form is estimated to take 0.2 hours to complete. Time will vary depending upon the needs of the individual case. Any comments on the amount of time you are required to complete this form should be sent to the Chief Information Officer, Patent and Trademark Office, Washington, DC 20231. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO Assistant Commissioner for Patents, Box Patent Application, Washington, DC 20231.

【発明の名称】 プラズマ処理方法**【発明の背景】**

本発明は、半導体装置の製造プロセスにおいて用いられるプラズマ処理方法に関し、特にフルオロカーボンガスからなるプラズマを用いてエッチング又は成膜を行なうプラズマ処理方法に関する。

近年、半導体デバイスの微細化は加速的に進歩しており、いよいよ $0.1\mu\text{m}$ レベルの加工を必要としてきている。

ところが、半導体デバイスの製造プロセスは、基本的には従来と変わることなく行なわれており、半導体基板上に薄膜を堆積した後、該薄膜の上にリソグラフィにより有機膜からなるレジスト膜を形成し、その後、該レジスト膜を用いて薄膜をエッチングするものである。

もっとも、半導体デバイスの微細化に対応するため、リソグラフィの露光光は、 i 線、 KrF エキシマレーザ又は ArF エキシマレーザと変化しており、露光光の変化に対応する有機レジスト膜も開発されている。

また、 $0.1\mu\text{m}$ レベルの加工を行なうための露光光としては ArF エキシマレーザの導入が検討されているが、この場合には、有機レジスト膜のエッチング耐性が乏しいことが指摘されている。

そこで、レジスト膜に対する選択性を確保するために、さまざまな技術が提案されている。例えば反応室内の部材にシリコン材料を用いて、該シリコン材料がフッ素をスカベンジする機能を利用する技術、すなわち、エッチングガス中のフッ素の濃度を低くして、レジストに対する選択性を向上させる技術が提案されている。

以下、従来のプラズマ処理方法について、図1を参照しながら説明する。

図1は、誘導結合型プラズマ処理装置の概略構造を示しており、図1に示すように、反応室10の内壁は石英板11により覆われている。反応室10の外側には誘導コイル12が設けられており、誘導コイル12の一端は第1の高周波電源13に接続されていると共に、誘導コイル12の他端は接地されている。

反応室10のガス導入部14は、マスフローコントローラ15を介してガス供給源（ガスボンベ）16に接続されていると共に、反応室10のガス排出部17

は、圧力制御バルブ18を介して排気ポンプ19に接続されており、反応室10のガス圧力は、マスフローコントローラ15と、圧力制御バルブ18及び排気ポンプ19との少なくとも一方により制御される。

反応室10の内部には、下部電極となる試料台20が設けられており、該試料台20は、マッチング回路21を介して第2の高周波電源22に接続されている。

制御装置23は、第1の高周波電源12、第2の高周波電源22、マスフローコントローラ15及び圧力制御バルブ18に制御信号を送ることにより、第1の高周波電源12から誘導コイル12に供給される第1の高周波電力、第2の高周波電源22から試料台22に供給される第2の高周波電力、ガス供給源16から反応室10に供給されるガスの流量、反応室10から排出されるガスの流量を制御する。

通常、反応室10のガス圧力は、排気ポンプ19の駆動を継続した状態で圧力制御バルブ18を制御することにより、0.133Pa～1.33Paの範囲内の所定値に制御される。

プロセスガスをガス導入部14から反応室10に供給すると共に反応室10のガス圧力を所定値に保った状態で、第1の高周波電源13から誘導コイル12に第1の高周波電力を供給して、プロセスガスからなるプラズマを発生させ、その後、第2の高周波電源22から試料台20に第2の高周波電力を供給して、発生したプラズマを試料台20の上に接地されている半導体基板に引き込む。これによって、半導体基板の表面に形成されている薄膜がエッチングされたり又は半導体基板の表面に薄膜が堆積されたりする。

前述したように、シリコン材料はフッ素をスカベンジする機能を有しているため、反応室10の内部にフッ素を含むエッチングガスを導入すると、シリコン材料からなる試料台20及びシリコンリング（図示は省略している。）はフッ素と結合して SiF_x （ $x=3, 4$ ）を生成する。これによって、エッチングガス中のフッ素の濃度が調整され、エッチングレートが制御される。尚、フッ素の濃度がレジスト膜のエッチングレートに影響を与えることは一般に知られている。

そこで、特開平10-98024号公報においては、レジスト膜をマスクとし

てシリコン酸化膜に対してドライエッチング（プラズマエッチング）を行なう際に、シリコン酸化膜のレジスト膜に対する選択比を向上させるため、フッ素に対する炭素の比率（以下、C/F比と称する。）が比較的大きいフルオロカーボンガス、例えば C_5F_8 ガスを用いることが好ましいと提案されている。

しかしながら、本件発明者らが、レジスト膜をマスクとしてシリコン酸化膜に対して、C/F比が大きい C_5F_8 ガスを用いてドライエッチングを行なったところ、従来から用いられているC/F比が小さい C_2F_6 ガスに比べて、選択性が向上しないことが分かった。

以下、本件発明者が行なった実験について説明する。

エッチング装置としてはICPプラズマドライエッチング装置を用い、プラズマを生成するために投入される電力の大きさは1600Wに設定し、エッチングガスとしては C_5F_8 ガスとArガスとの混合ガスを用い、ガス流量は C_5F_8 ガス：Arガス＝4.7：4.0（ml/min）に設定し、ガス圧力は0.133Paに設定した。このようなプロセス条件を用いて、レジスト膜をマスクにしてシリコン酸化膜に対してエッチングを行なった。

その結果、C/F比が大きいガス（ C_5F_8 ガス）を用いているにも拘わらず、レジスト膜に対する選択比は1.81であった。この選択比は、従来から用いられているC/F比が小さいガス（ C_2F_6 ガス）と比較してそれほど変わらない。

【発明の概要】

前記に鑑み、本発明は、C/F比が0.5以上であるフルオロカーボンガスを用いてドライエッチングを行なう場合の選択性を向上させることを目的とする。

本件発明者は、C/F比が大きいフルオロカーボンガスを用いてシリコン酸化膜に対してドライエッチングを行なった場合に、レジスト膜に対する選択比が向上するのは次の理由によるものと考える。すなわち、シリコン酸化膜及びレジスト膜の表面にポリマー膜が堆積され、該ポリマー膜がエッチングを抑制する。このため、シリコン酸化膜のエッチングレートの低下の程度が、レジスト膜のエッチングレートの低下の程度よりも少ない場合に、レジスト膜に対する選択比は向上する一方、シリコン酸化膜のエッチングレートの低下の程度が、レジスト膜のエッチングレートの低下の程度に比べて大きいか又は同じ場合には、レジスト膜

に対する選択比は向上しない。

従って、C/F比が大きいフルオロカーボンガスを用いるとレジスト膜に対する選択比が必ず向上するのではなく、C/F比が大きいフルオロカーボンガスを用いると共に、シリコン酸化膜のエッチングレートの低下の程度をレジスト膜のエッチングレートの低下の程度よりも少なくすることにより、レジスト膜に対する選択比を向上させることができる。

さらに、本件発明者は、フルオロカーボンガスの滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ (但し、Pはフルオロカーボンガスの圧力(単位:Pa)であり、Vは反応室の容積(単位:L)であり、Qはフルオロカーボンガスの流量(単位:Pa・L/sec)である。)に着目し、種々の容積を持つ反応室において、フルオロカーボンガスの圧力及び流量を変化させて、レジスト膜に対する選択比が向上する滞在時間 τ を求めた。その結果、C/F比が0.5以上であるフルオロカーボンガスを用いる場合には、滞在時間 τ が0.1(sec)よりも大きく且つ1(sec)以下であると、レジスト膜に対する選択比が向上することを見い出した。また、滞在時間 τ が0.1(sec)以下である場合に、レジスト膜に対する選択比が向上しないということは、ポリマーの堆積が促進されること、すなわち有機膜の堆積レートが向上することを意味する。

ところで、滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ の関係式から分かるように、滞在時間 τ は反応室の容積Vによって変化する。

そこで、滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ と、プラズマを生成するために投入される電力の電力密度 $P_i = W_0 / V$ (但し、 W_0 は電力の大きさであり、Vは反応室の容積である。)との積である $P \times W_0 / Q$ という概念を導入すると、反応室の容積とは無関係に、レジスト膜に対する選択比を向上させたり、又は有機膜の堆積レートを向上させたりすることができることを見い出した。

本件発明は、前記の知見に基づいて成されたものであって、具体的には、以下の通りである。

本発明に係る第1のプラズマ処理方法は、プラズマ処理装置の反応室の内部に、表面にシリコン酸化膜が形成された基板を設置する工程と、反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上であるフルオ

ロカーボンガスを導入する工程と、フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成し、該プラズマを用いてシリコン酸化膜に対してエッチングを行なう工程とを備え、フルオロカーボンガスの反応室における滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ (但し、 P はフルオロカーボンガスの圧力 (単位: Pa) であり、 V は反応室の容積 (単位: L) であり、 Q はフルオロカーボンガスの流量 (単位: Pa · L/sec) である。) を 0.1 (sec) よりも大きく且つ 1 (sec) 以下に制御する。

第1のプラズマ処理方法によると、フルオロカーボンガスの反応室における滞在時間 τ を 0.1 (sec) よりも大きく且つ 1 (sec) 以下に制御してシリコン酸化膜に対してエッチングを行なうため、プロセスを安定させた状態で、レジスト膜に対する選択比を 2 以上に向上させることができる。

本発明に係る第2のプラズマ処理方法は、プラズマ処理装置の反応室の内部に、表面にシリコン酸化膜が形成された基板を設置する工程と、反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が 0.5 以上であるフルオロカーボンガスを導入する工程と、フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成し、該プラズマを用いてシリコン酸化膜に対してエッチングを行なう工程とを備え、フルオロカーボンガスの反応室における滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ (但し、 P はフルオロカーボンガスの圧力 (単位: Pa) であり、 V は反応室の容積 (単位: L) であり、 Q はフルオロカーボンガスの流量 (単位: Pa · L/sec) である。) と、プラズマを生成するために投入される電力の電力密度 $P_i = W_0 / V$ (但し、 W_0 は電力の大きさ (単位: W) であり、 V は反応室の容積 (単位: L) である。) との積である $P \times W_0 / Q$ の値を 0.8×10^4 (sec · W/m³) よりも大きく且つ 8×10^4 (sec · W/m³) 以下に制御する。

第2のプラズマ処理方法によると、フルオロカーボンガスの反応室における滞在時間 τ とプラズマを生成するために投入される電力の電力密度 P_i との積である $P \times W_0 / Q$ の値を 0.8×10^4 (sec · W/m³) よりも大きく且つ 8×10^4 (sec · W/m³) 以下に制御してシリコン酸化膜に対してエッチングを行なうため、プロセスを安定させた状態で、レジスト膜に対する選択比を 2 以上に向上させることができる。

本発明に係る第3のプラズマ処理方法は、プラズマ処理装置の反応室の内部に

基板を設置する工程と、反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを導入する工程と、フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成し、該プラズマを用いて基板上に有機膜を堆積する工程とを備え、フルオロカーボンガスの滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ （但し、 P はフルオロカーボンガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は反応室の容積（単位：L）であり、 Q はフルオロカーボンガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）を0.1(sec)以下に制御する。

第3のプラズマ処理方法によると、フルオロカーボンガスの反応室における滞在時間 τ を0.1(sec)以下に制御して有機膜の堆積を行なうため、プロセスを安定させた状態で、有機膜の成膜レートを向上させることができる。

本発明に係る第4のプラズマ処理方法は、プラズマ処理装置の反応室の内部に基板を設置する工程と、反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを導入する工程と、フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成し、該プラズマを用いて基板上に有機膜を堆積する工程とを備え、フルオロカーボンガスの滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ （但し、 P はフルオロカーボンガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は反応室の容積（単位：L）であり、 Q はフルオロカーボンガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）と、プラズマを生成するために投入される電力の電力密度 $P_i = W_0 / V$ （但し、 W_0 は電力の大きさ（単位：W）であり、 V は反応室の容積（単位：L）である。）との積である $P \times W_0 / Q$ の値を 0.8×10^4 (sec・W/m³)以下に制御する。

第4のプラズマ処理方法によると、フルオロカーボンガスの反応室における滞在時間 τ とプラズマを生成するために投入される電力の電力密度 P_i との積である $P \times W_0 / Q$ の値を 0.8×10^4 (sec・W/m³)以下に制御して有機膜の堆積を行なうため、プロセスを安定させた状態で、有機膜の成膜レートを向上させることができる。

第1～第4のプラズマ処理方法において、フルオロカーボンガスは、 C_4F_8 ガス、 C_4F_6 ガス、 C_3F_8 ガス、 C_3F_6 ガス及び C_2F_6 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスであることが好ましい。

第1～第4のプラズマ処理方法において、滞在時間 τ は、プラズマ処理装置に設けられたマスフローコントローラと、プラズマ処理装置に設けられたバルブ及びポンプとのうちの少なくとも1つにより制御されることが好ましい。

本発明に係る第5のプラズマ処理方法は、プラズマ処理装置の反応室の内部に、表面にシリコン酸化膜が形成された基板を設置する工程と、反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上である第1のフルオロカーボンガスを導入する工程と、第1のフルオロカーボンガスからなる第1のプラズマを生成し、該第1のプラズマを用いてシリコン酸化膜に対してエッチングを行なう工程と、反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上である第2のフルオロカーボンガスを導入する工程と、第2のフルオロカーボンガスからなる第2のプラズマを生成し、該第2のプラズマを用いて、エッチングが完了したシリコン酸化膜の上に有機膜を堆積する工程とを備え、第1のフルオロカーボンガスの反応室における第1の滞在時間 $\tau_1 = P_1 \times V / Q_1$ （但し、 P_1 は第1のフルオロカーボンガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は反応室の容積（単位：L）であり、 Q_1 は第1のフルオロカーボンガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）を0.1(sec)よりも大きく且つ1(sec)以下に制御し、第2のフルオロカーボンガスの反応室における第2の滞在時間 $\tau_2 = P_2 \times V / Q_2$ （但し、 P_2 は第2のフルオロカーボンガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は反応室の容積（単位：L）であり、 Q_2 は第2のフルオロカーボンガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）を0.1(sec)以下に制御する。

第5のプラズマ処理方法によると、プロセスを安定させた状態で、レジスト膜に対する選択比を2以上に向上させることができると共に有機膜の成膜レートを向上させることができる。

本発明に係る第6のプラズマ処理方法は、プラズマ処理装置の反応室の内部に、表面にシリコン酸化膜が形成された基板を設置する工程と、反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上である第1のフルオロカーボンガスを導入する工程と、第1のフルオロカーボンガスからなる第1のプラズマを生成し、該第1のプラズマを用いてシリコン酸化膜に対してエ

ツチングを行なう工程と、反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上である第2のフルオロカーボンガスを導入する工程と、第2のフルオロカーボンガスからなる第2のプラズマを生成し、該第2のプラズマを用いて、エッチングが完了したシリコン酸化膜の上に有機膜を堆積する工程とを備え、第1のフルオロカーボンガスの反応室における第1の滞在時間 $\tau_1 = P_1 \times V / Q_1$ (但し、 P_1 は第1のフルオロカーボンガスの圧力 (単位: Pa) であり、 V は反応室の容積 (単位: L) であり、 Q_1 は第1のフルオロカーボンガスの流量 (単位: Pa · L/sec) である。) と、第1のプラズマを生成するために投入される第1の電力の電力密度 $P_{i1} = W_1 / V$ (但し、 W_1 は第1の電力の大きさ (単位: W) であり、 V は反応室の容積 (単位: L) である。) との第1の積である $P_1 \times W_1 / Q_1$ の値を 0.8×10^4 (sec · W / m³) よりも大きく且つ 8×10^4 (sec · W / m³) 以下に制御し、第2のフルオロカーボンガスの反応室における第2の滞在時間 $\tau_2 = P_2 \times V / Q_2$ (但し、 P_2 は第2のフルオロカーボンガスの圧力 (単位: Pa) であり、 V は反応室の容積 (単位: L) であり、 Q_2 は第2のフルオロカーボンガスの流量 (単位: Pa · L/sec) である。) と、第2のプラズマを生成するために投入される第2の電力の電力密度 $P_{i2} = W_2 / V$ (但し、 W_2 は第2の電力の大きさ (単位: W) であり、 V は反応室の容積 (単位: L) である。) との第2の積である $P_2 \times W_2 / Q_2$ の値を 0.8×10^4 (sec · W / m³) 以下に制御する。

第6のプラズマ処理方法によると、プロセスを安定させた状態で、レジスト膜に対する選択比を2以上に向上させることができると共に有機膜の成膜レートを向上させることができる。

第5又は第6のプラズマ処理方法において、第1のフルオロカーボンガスは、 C_4F_8 ガス、 C_3F_8 ガス、 C_5F_8 ガス及び C_6F_8 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスであり、第2のフルオロカーボンガスは、 C_4F_8 ガス、 C_4F_6 ガス、 C_3F_8 ガス、 C_5F_8 ガス及び C_6F_8 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスであることが好ましい。

第5又は第6のプラズマ処理方法において、第1の滞在時間 τ_1 及び第2の滞在時間 τ_2 は、プラズマ処理装置に設けられたマスフローコントローラと、プラ

ズマ処理装置に設けられたバルブ及びポンプとのうちの少なくとも1つによりそれぞれ制御されることが好ましい。

【図面の説明】

図1は、従来例及び本発明の各実施形態に係るプラズマ処理方法に用いる誘導結合型プラズマ処理装置の概略断面図である。

図2は、エッチングガスを変えてプラズマエッチングを行なったときの、滞在時間とBPSG及びレジスト膜のエッチングレートとの関係を示す図である。

図3は、エッチングガスを変えてプラズマエッチングを行なったときの、滞在時間とレジスト膜に対する選択比との関係を示す図である。

図4は、誘導結合型プラズマ処理装置において、フルオロカーボンガスからなるプラズマを発生させた場合の各種イオンの滞在時間に対する依存性を示す図である。

図5は、エッチングガスを変えてプラズマエッチングを行なったときの、滞在時間と電力密度との積と、BPSG及びレジスト膜のエッチングレートとの関係を示す図である。

図6は、エッチングガスを変えてプラズマエッチングを行なったときの、滞在時間と電力密度との積と、レジスト膜に対する選択比との関係を示す図である。

図7は、誘導結合型プラズマ処理装置において、フルオロカーボンガスからなるプラズマを発生させた場合の各種イオンの、滞在時間と電力密度との積に対する依存性を示す図である。

図8(a)は滞在時間が4.5(sec)である場合において、 F^- イオンの電子エネルギーの強度分布を測定した結果を示す図であり、図8(b)は滞在時間が5.2(sec)である場合において、 F^- イオンの電子エネルギーの強度分布を測定した結果を示す図であり、図8(c)は滞在時間が13.5(sec)である場合において、 F^- イオンの電子エネルギーの強度分布を測定した結果を示す図である。

図9は、第1の実施形態に係るプラズマ処理方法を示すフロー図である。

図10は、第2の実施形態に係るプラズマ処理方法を示すフロー図である。

図11は、第3の実施形態に係るプラズマ処理方法を示すフロー図である。

【発明の実施の形態】

以下、本発明の各実施形態に係るプラズマ処理方法について説明するが、その前提として、本発明の解決原理について説明する。

以下に示す、[表1]、[表2]及び[表3]は、エッチングガスとしてC_sF₅ガスを用いるプラズマエッチング方法において、反応室の容積、C_sF₅ガスの流量及びC_sF₅ガスの圧力を変化させながらプラズマエッチングを行なって、反応室におけるガスの滞在時間 τ を求めた実験結果を示している。

【表1】

	×0.133Pa									
	1	5	10	20	30	40	50	60	80	100
1	1.976	9.881	19.76	39.53	59.29	79.05	98.81	118.6	158.1	197.6
5	0.395	1.976	3.953	7.905	11.86	15.81	19.76	23.72	31.62	39.53
10	0.198	0.988	1.976	3.953	5.929	7.905	9.881	11.86	15.81	19.76
15	0.132	0.659	1.318	2.635	3.953	5.27	6.588	7.905	10.54	13.18
20	0.099	0.494	0.988	1.976	2.964	3.953	4.941	5.929	7.905	9.881
25	0.079	0.395	0.791	1.581	2.372	3.162	3.953	4.743	6.324	7.905
50	0.04	0.198	0.395	0.791	1.186	1.581	1.976	2.372	3.162	3.953
100	0.02	0.099	0.198	0.395	0.593	0.791	0.988	1.186	1.581	1.976
150	0.013	0.066	0.132	0.264	0.395	0.527	0.659	0.791	1.054	1.318
200	0.01	0.049	0.099	0.198	0.296	0.395	0.494	0.593	0.791	0.988

× $\frac{133.3}{79.5}$
(Pa·L/sec)

【表2】

×0.133Pa

	1	5	10	20	30	40	50	60	80	100
1	0.791	3.953	7.905	15.81	23.72	31.62	39.53	47.43	63.24	79.05
5	0.158	0.791	1.581	3.162	4.743	6.324	7.905	9.486	12.65	15.81
10	0.079	0.395	0.791	1.581	2.372	3.162	3.953	4.743	6.324	7.905
15	0.053	0.264	0.527	1.054	1.581	2.108	2.635	3.162	4.218	5.27
20	0.04	0.198	0.395	0.791	1.186	1.581	1.976	2.372	3.162	3.953
25	0.032	0.158	0.316	0.632	0.949	1.265	1.581	1.897	2.53	3.162
50	0.016	0.079	0.158	0.316	0.474	0.632	0.791	0.949	1.265	1.581
100	0.008	0.04	0.079	0.158	0.237	0.316	0.395	0.474	0.632	0.791
150	0.005	0.026	0.053	0.105	0.158	0.211	0.264	0.316	0.422	0.527
200	0.004	0.02	0.04	0.079	0.119	0.158	0.198	0.237	0.316	0.395

× $\frac{133.3}{79.5}$
(Pa·L/sec)

【表3】

×0.133Pa

	1	5	10	20	30	40	50	60	80	100
1	3.953	19.76	39.53	79.05	118.6	158.1	197.6	237.2	316.2	395.3
5	0.791	3.953	7.905	15.81	23.72	31.62	39.53	47.43	63.24	79.05
10	0.395	1.976	3.953	7.905	11.86	15.81	19.76	23.72	31.62	39.53
15	0.264	1.318	2.635	5.27	7.905	10.54	13.18	15.81	21.08	26.35
20	0.198	0.988	1.976	3.953	5.929	7.905	9.881	11.86	15.81	19.76
25	0.158	0.791	1.581	3.162	4.743	6.324	7.905	9.486	12.65	15.81
50	0.079	0.395	0.791	1.581	2.372	3.162	3.953	4.743	6.324	7.905
100	0.04	0.198	0.395	0.791	1.186	1.581	1.976	2.372	3.162	3.953
150	0.026	0.132	0.264	0.527	0.791	1.054	1.318	1.581	2.108	2.635
200	0.02	0.099	0.198	0.395	0.593	0.791	0.988	1.186	1.581	1.976

× $\frac{133.3}{79.5}$
(Pa·L/sec)

尚、[表1]は反応室の容積が25リットルの場合であり、[表2]は反応室の容積が10リットルの場合であり、[表3]は反応室の容積が50リットルの場合である。また、滞在時間 τ を求める実験においては、ガス流量として標準状態における1分間当たりの流量(mL)を用いたため、標準状態における1分間当たりのガス流量 $79.05 \text{ (mL)} = 133.3 \text{ (Pa} \cdot \text{L/sec)}$ という換算式に基づき、 C_2F_6 ガスの流量は $(\times 133.3 / 79.05 \text{ (Pa} \cdot \text{L/sec)})$ の単位で示している。また、ガス圧力としてmTorrを用いたため、 $1 \text{ (mTorr)} = 0.133 \text{ (Pa)}$ という換算式に基づき、 C_2F_6 ガスの流量は $(\times 0.133 \text{ (Pa)})$ の単位で示している。

[表1]、[表2]及び[表3]のデータは、反応室の容積(単位:L)、ガス流量(単位: $\text{Pa} \cdot \text{L/sec}$)及びガス圧力(単位:Pa)の値を、 $\tau = P \times V / Q$ (但し、 τ は反応室におけるガスの滞在時間(単位:sec)であり、Pはガスの圧力(単位:Pa)であり、Vは反応室の容積(単位:L)であり、Qはガスの流量(単位: $\text{Pa} \cdot \text{L/sec}$)である。)の関係式に代入して、ガスの滞在時間 τ を求めた。また、[表1]、[表2]及び[表3]において、太線の枠で囲んだ領域は、レジスト膜に対するシリコン酸化膜の選択比が2以上となる滞在時間を示している。

従って、[表1]、[表2]及び[表3]から、エッチングガスとして C_2F_6 ガスを用いるプラズマエッチング方法においては、滞在時間 τ が1.0(sec)よりも大きく且つ1(sec)以下であると、レジスト膜に対するシリコン酸化膜の選択比として2以上の値を得られることが分かる。尚、太枠で囲んだ領域以外の領域においても、滞在時間 τ が1.0~1(sec)の範囲に入っているものもあるが、太枠で囲んだ領域と対応するガス流量及びガス圧力を用いるとプロセスが安定することが経験上分かっている。[表1]、[表2]及び[表3]においては、滞在時間 τ は、0.01(sec)~395.3(sec)の範囲に分布しているが、本発明は、1.0~1(sec)の範囲という極めて狭い領域を選択したものであり、滞在時間をこの極めて狭い領域を選択すると、プロセスが安定すると共にレジスト膜に対するシリコン酸化膜の選択比が2以上になることを見出したものである。

また、滞在時間 τ が0.1(sec)以下である場合には、対レジスト膜に対する選択比が低くなるということは、ポリマーの堆積が促進されること、すなわち有機膜の堆積レートが向上することを意味する。従って、ガスの滞在時間 τ を0.1(sec)以下に設定すると、有機膜の堆積レートが向上する。

ところで、前述した $\tau = P \times V / Q$ の関係式から分かるように、滞在時間 τ は反応室の容積 V によって変化する。

そこで、プラズマを生成するために投入される電力の電力密度 $P_i = W_0 / V$ (但し、 W_0 は電力の大きさ(単位:W)であり、 V は反応室の容積(単位:L)である。)と、滞在時間 τ との積である $E = P \times W_0 / Q$ という概念を導入する。このようにすると、反応室の容積とは無関係に、レジスト膜に対する選択比を向上させたり、又は有機膜の堆積レートを向上させたりすることができる。

滞在時間 τ が1.0よりも小さく且つ1(sec)以下の範囲であるということは、滞在時間 τ と電力密度 P_i との積 E が 0.8×10^4 (sec·W/m³)よりも大きく且つ 8×10^4 (sec·W/m³)以下であるということに相当する。

従って、滞在時間 τ と電力密度 P_i との積 E が 0.8×10^4 (sec·W/m³)よりも大きく且つ 8×10^4 (sec·W/m³)以下であると、プロセスが安定すると共にレジスト膜に対するシリコン酸化膜の選択比が2以上になる。

滞在時間 τ と電力密度 P_i との積 E が 0.8×10^4 (sec·W/m³)以下であると、有機膜の堆積レートが向上する。

図2は、エッチングガスを変えてプラズマエッチングを行なったときの、滞在時間 τ とBPSG (Boro-phospho-silicate glass) 及びレジスト膜のエッチングレートとの関係を示している。尚、図2において、★はC₂F₆ガスを用いたときのBPSG膜に対するエッチングレートを示し、◆はC₄F₈ガスを用いたときのBPSG膜に対するエッチングレートを示し、●はC₅F₈ガスを用いたときのBPSG膜に対するエッチングレートを示し、☆はC₂F₆ガスを用いたときのレジスト膜に対するエッチングレートを示し、◇はC₄F₈ガスを用いたときのレジスト膜に対するエッチングレートを示し、○はC₅F₈ガスを用いたときのレジスト膜に対するエッチングレートを示している。

図2から、C₄F₈ガス及びC₅F₈ガスを用いる場合、滞在時間が短くなると、

BPSG膜及びレジスト膜のエッチングレートが小さくなることが分かる。これは、BPSG膜及びレジスト膜の各表面にポリマー膜が堆積し、該ポリマー膜がエッチングを抑制する働きをするためであると考えられる。一方、 C_2F_6 ガスを用いる場合、滞在時間が短くなると、BPSG膜及びレジスト膜のエッチングレートが大きくなることが分かる。

図3は、レジスト膜のエッチングレートに対するBPSG膜のエッチングレートの比つまりレジスト膜に対する選択比の滞在時間 τ に対する依存性を示している。尚、図3において、★は C_2F_6 ガスを用いたときの選択比を示し、◆は C_4F_8 ガスを用いたときの選択比を示し、●は C_5F_8 ガスを用いたときの選択比を示している。

図3から、 C_4F_8 ガス及び C_5F_8 ガスを用いる場合、滞在時間を短くすると、レジスト膜に対する選択比が大きくなることが分かる。もっとも、 C_4F_8 ガスを用いる場合、滞在時間が0.2(sec)以下では、選択比は低下する。これは、レジスト膜のエッチングレートの低下よりもBPSG膜のエッチングレートの低下の方が大きくなるためである。一方、 C_2F_6 ガスを用いる場合、選択比は滞在時間に殆ど依存しないことが分かる。

以上の考察から、 C_4F_8 ガス及び C_5F_8 ガスのように、炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを用いる場合、滞在時間を0.1(sec)よりも大きく且つ1(sec)以下に制御すると、エッチング選択性が向上することが確認される。

図4は、誘導結合型プラズマ処理装置において、フルオロカーボンガスからなるプラズマを発生させた場合の、 F^- イオン、 CF_3^- イオン、 $C_2F_5^-$ イオン、 $C_3F_7^-$ イオン、 $C_7F_{11}^-$ イオン及び $C_8F_{11}^-$ イオンの各イオン量の滞在時間に対する依存性を示しており、この測定は電子付着質量分析法を用いて行なったものである。従って、 F^- イオンは全ての C_xF_y 分子からの解離性電子付着過程によって生成されたものであり、 CF_3^- イオンは CF_4 分子からの解離性電子付着過程によって生成され、 $C_2F_5^-$ イオンは C_2F_6 分子からの解離性電子付着過程によって生成されている。また、 $C_3F_7^-$ イオン、 $C_7F_{11}^-$ イオン及び $C_8F_{11}^-$ イオンについては、同様の解離性電子付着過程と、非解離性電子付着過程と

の両方の過程で生成されたものである。

図4から、滞在時間を短くすると、 F^- イオン、 CF_3^- イオン及び $C_2F_5^-$ イオン等の低次イオンは減少する一方、 $C_5F_7^-$ イオン、 $C_7F_{11}^-$ イオン及び $C_9F_{11}^-$ イオン等の高次イオンは増加することが分かる。すなわち、滞在時間を短くすると、低次分子が減少する一方、高次分子が増加することが分かり、従って、滞在時間を短くすると、レジスト膜に対する選択性が向上することが分かる。

図5は、エッチングガスを変えてプラズマエッチングを行なったときの、滞在時間 τ と電力密度 P_i との積 E と、BPSG及びレジスト膜のエッチングレートとの関係を示している。尚、図5においては、電力密度 P_i は1800Wとして計算している。また、図5において、★は C_2F_6 ガスを用いたときのBPSG膜に対するエッチングレートを示し、◆は C_4F_8 ガスを用いたときのBPSG膜に対するエッチングレートを示し、●は C_5F_8 ガスを用いたときのBPSG膜に対するエッチングレートを示し、☆は C_2F_6 ガスを用いたときのレジスト膜に対するエッチングレートを示し、◇ C_4F_8 ガスを用いたときのレジスト膜に対するエッチングレートを示し、○は C_5F_8 ガスを用いたときのレジスト膜に対するエッチングレートを示している。

図5から、 C_4F_8 ガス及び C_5F_8 ガスを用いる場合、滞在時間と電力密度との積 E が小さくなると、BPSG膜及びレジスト膜のエッチングレートが小さくなることが分かる。これは、前述した、滞在時間 τ と、BPSG膜及びレジスト膜のエッチングレートとの間の関係と同様の関係が成り立つためである。

図6は、レジスト膜に対する選択比の、滞在時間と電力密度との積 E に対する依存性を示している。尚、図6においては、電力密度 P_i は1800Wとして計算している。また、図6において、★は C_2F_6 ガスを用いたときの選択比を示し、◆は C_4F_8 ガスを用いたときの選択比を示し、●は C_5F_8 ガスを用いたときの選択比を示している。

図6から、 C_4F_8 ガス及び C_5F_8 ガスを用いる場合、滞在時間と電力密度との積 E を小さくすると、レジスト膜に対する選択比が大きくなることが分かる。これは、前述した滞在時間と選択比との間の関係と同様の関係が成り立つためである。

以上の考察から、 C_4F_8 ガス及び C_3F_8 ガスのように、炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを用いる場合、滞在時間と電力密度との積 E を 0.8×10^4 ($\text{sec} \cdot \text{W}/\text{m}^2$) よりも大きく且つ 8×10^4 ($\text{sec} \cdot \text{W}/\text{m}^2$) 以下に制御すると、エッチング選択性が向上することが確認される。

図7は、誘導結合型プラズマ処理装置において、フルオロカーボンガスからなるプラズマを発生させた場合の、 F^- イオン、 CF_3^- イオン、 $C_2F_5^-$ イオン、 $C_3F_7^-$ イオン、 $C_4F_9^-$ イオン及び $C_5F_{11}^-$ イオンの各イオン量の滞在時間に対する依存性を示している。

図7から、滞在時間と電力密度との積 E を小さくすると、 F^- イオン、 CF_3^- イオン及び $C_2F_5^-$ イオン等の低次イオンは減少する一方、 $C_3F_7^-$ イオン、 $C_4F_9^-$ イオン及び $C_5F_{11}^-$ イオン等の高次イオンは増加することが分かる。すなわち、滞在時間と電力密度との積 E を小さくすると、レジスト膜に対する選択性が向上することが分かる。

図8(a)～(c)は、滞在時間をパラメーターとして、 F^- イオンの電子エネルギーの強度分布を測定した結果を示しており、図8(a)は滞在時間が4.5(sec)の場合であり、図8(b)は滞在時間が5.2(sec)の場合であり、図8(c)は滞在時間が13.5(sec)の場合である。これらの強度分布は、各分子からの解離性のフラグメントを観察することができ且つ断面積が既知のものに関しては測定が可能である。

図8(a)～(c)から、 C_2F_8 ガス及び C_3F_8 ガスについては、滞在時間が長くなると、 C_2F_8 ガス及び C_3F_8 ガスが増加することが分かる。この現象は、図3に示す結果と整合性を有している。また、図8(a)～(c)から、滞在時間を短くすると、環境に悪影響を及ぼす C_2F_8 ガス又は C_3F_8 ガス等の規制対象フルオロカーボンガスを低減できることが分かる。

ところで、特開平5-259119号公報においては、高速排気ポンプを用いて滞在時間 τ を短くし、これによって、エッチング選択比の向上を図る技術が提案されている。特開平5-259119号公報における【0051】、図7及びその説明の箇所に示されている技術は、一見すると本件発明と類似している。

ところが、特開平5-259119号公報の発明が解決しようとする課題は、

化学式： $\text{SiO}_2 + \text{CF}_x \rightarrow \text{SiF}_x + \text{CO}_2$ で表わされる右辺の CO_2 を高速排気することにより、ウエハからの反応生成物（ CO_2 等）の影響を少なくしようとするものであり、特開平5-259119号公報の発明はエッチングガスに関する特定がされていない。

これに対して、本件発明は、前記のような課題は一切なく、C/F比が大きいガスを用いてエッチングする場合に、レジスト膜に対する選択比を確実に高くするには、滞在時間 τ 又は滞在時間と電力密度との積Eを所定範囲に設定することが重要であるということを見出したものである。従って、エッチングガスの特定が成されていない特開平5-259119号公報の発明と、プロセスガスをC/F比が2以上であるフルオロカーボンガスに特定している本件発明とは、技術的思想、構成及び効果の点で全く異なるものである。

（第1の実施形態）

以下、第1の実施形態に係るプラズマ処理方法について、図1及び図9を参照しながら説明する。

まず、ステップSA1において、プラズマ処理装置の反応室10の内部に、半導体基板を搬入して、該半導体基板を試料台20の上に設置する。この場合、半導体基板の上にはシリコン酸化膜が形成されていると共に、該シリコン酸化膜の上にはパターン化されたレジスト膜が形成されている。

次に、ステップSA2において、反応室10の内部に、C/F比が0.5以上であるフルオロカーボンガス、例えば C_5F_8 ガスを導入する。この場合、ガス圧力としては、0.665Pa～3.99Paの範囲、例えば1.33Paになるように制御する。

次に、ステップSA3において、 $\tau = P \times V / Q$ （但し、 τ は反応室におけるガスの滞在時間（単位：sec）であり、Pはガスの圧力（単位：Pa）であり、Vは反応室の容積（単位：L）であり、Qはガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）の関係式を用いて、滞在時間 τ が0.1（sec）よりも小さく且つ1（sec）以上になるように、マスフローコントローラ15を調整してガス流量を制御する。

次に、ステップSA4において、第1の高周波電源13から誘導コイル12に

第1の高周波電力を印加して、フルオロカーボンガス例えば C_2F_6 ガスからなるプラズマを生成する。この場合、滞在時間 τ が0.1(sec)よりも小さく且つ1(sec)以上になるようにガス流量を制御すると、プラズマを生成するために投入される第1の高周波電力の電力密度 $P_i = W_0 / V$ (但し、 W_0 は電力の大きさ(単位:W)であり、 V は反応室の容積(単位:L)である。)と、滞在時間 τ との積である $E = P \times W_0 / Q$ は、必然的に 0.8×10^4 (sec·W/m³)よりも大きく且つ 8×10^4 (sec·W/m³)以下に設定される。

次に、ステップSA5において、第2の高周波電源22から試料台20に第2の高周波電力を印加して、生成されたプラズマを試料台20の上の半導体基板上に導入して、ステップSA6において、レジスト膜をマスクにしてシリコン酸化膜に対してプラズマエッチングを行なう。

第1の実施形態によると、パフルオロカーボンガスの反応室内における滞在時間 τ を0.1(sec)よりも小さく且つ1(sec)以上に設定すると共に、第1の高周波電力の電力密度 P_i と滞在時間 τ との積である $E = P \times W_0 / Q$ を 0.8×10^4 (sec·W/m³)よりも大きく且つ 8×10^4 (sec·W/m³)以下に設定したため、シリコン酸化膜のレジスト膜に対する選択比を2以上にすることができる。

(第2の実施形態)

以下、第2の実施形態に係るプラズマ処理方法について、図1及び図10を参照しながら説明する。

まず、ステップSB1において、プラズマ処理装置の反応室10の内部に、半導体基板を搬入して、該半導体基板を試料台20の上に設置する。

次に、ステップSB2において、反応室10の内部に、C/F比が0.5以上であるフルオロカーボンガス、例えば C_2F_6 ガスを導入する。この場合、ガス圧力としては、0.665Pa~3.99Paの範囲、例えば1.33Paになるように制御する。

次に、ステップSB3において、前述の関係式 $\tau = P \times V / Q$ を用いて、滞在時間 τ が0.1(sec)以下になるように、マスフローコントローラ15を調整してガス流量を制御する。

次に、ステップS B 4において、第1の高周波電源13から誘導コイル12に第1の高周波電力を印加して、フルオロカーボンガス例えばC₂F₆ガスからなるプラズマを生成する。この場合、滞在時間 τ が0.1 (sec) 以下になるようにガス流量を制御すると、プラズマを生成するために投入される第1の高周波電力の電力密度 P_i と滞在時間 τ との積である $E = P \times W_0 / Q$ は、必然的に 0.8×10^4 (sec · W/m³) 以下に設定される。

次に、ステップS B 5において、第2の高周波電源22から試料台20に第2の高周波電力を印加して、生成されたプラズマを試料台20の上の半導体基板上に導入して、ステップS A 6において、半導体基板の上に有機膜を堆積する。

第2の実施形態によると、パフルオロカボンの反応室内における滞在時間 τ を0.1 (sec) 以下に設定すると共に、第1の高周波電力の電力密度 P_i と滞在時間 τ との積である $E = P \times W_0 / Q$ を 0.8×10^4 (sec · W/m³) 以下に設定したため、有機膜を優れた堆積レートで形成することができる。

(第3の実施形態)

以下、第3の実施形態に係るプラズマ処理方法について、図1及び図11を参照しながら説明する。

まず、ステップS C 1において、プラズマ処理装置の反応室10の内部に、半導体基板を搬入して、該半導体基板を試料台20の上に設置する。

次に、ステップS C 2において、反応室10の内部に、C/F比が0.5以上である第1のフルオロカーボンガス、例えばC₂F₆ガスを導入する。この場合、ガス圧力としては、0.665 Pa ~ 3.99 Paの範囲、例えば1.33 Paになるように制御する。

次に、ステップS C 3において、前述の関係式 $\tau = P \times V / Q$ を用いて、滞在時間 τ が0.1 (sec) よりも大きく且つ1 (sec) 以下になるように、マスフローコントローラ15を調整して第1のガスの流量を制御する。

次に、ステップS C 4において、第1の高周波電源13から誘導コイル12に第1の高周波電力を印加して、第1のフルオロカーボンガス例えばC₂F₆ガスからなる第1のプラズマを生成する。この場合、滞在時間 τ が0.1 (sec) よりも小さく且つ1 (sec) 以上になるように第1のガスの流量を制御すると、第1

のプラズマを生成するために投入される第1の高周波電力の電力密度 P_i と滞在時間 τ との積である $E = P \times W_0 / Q$ は、必然的に 0.8×10^4 ($\text{sec} \cdot \text{W}/\text{m}^3$) よりも大きく且つ 8×10^4 ($\text{sec} \cdot \text{W}/\text{m}^3$) 以下に設定される。

次に、ステップSC5において、第2の高周波電源22から試料台20に第2の高周波電力を印加して、第1のプラズマを試料台20の上の半導体基板上に導入して、ステップSC6において、レジスト膜をマスクにしてシリコン酸化膜に対してプラズマエッチングを行なう。

次に、プラズマエッチングが完了すると、ステップSC7において、第1のパフルオロカーボンガスの導入を停止した後、反応室10の内部に酸素ガスを導入すると共に、該酸素ガスからなる酸素プラズマを生成して、シリコン酸化膜上のレジスト膜をアッシングにより除去する。

次に、ステップSC8において、反応室10の内部に、C/F比が0.5以上である第2のフルオロカーボンガス、例えば C_2F_6 ガスを導入する。この場合、ガス圧力としては、 $0.665 \text{ Pa} \sim 3.99 \text{ Pa}$ の範囲、例えば 1.33 Pa になるように制御する。

次に、ステップSC9において、前述の関係式 $\tau = P \times V / Q$ を用いて、滞在時間 τ が 0.1 (sec) 以下になるように、マスフローコントローラ15を調整して第2のガスの流量を制御する。

次に、ステップSC10において、第1の高周波電源13から誘導コイル12に第1の高周波電力を印加して、第2のフルオロカーボンガス例えば C_2F_6 ガスからなるプラズマを生成する。この場合、第2のガスの滞在時間 τ が 0.1 (sec) 以下になるようにガス流量を制御すると、第2のプラズマを生成するために投入される第1の高周波電力の電力密度 P_i と滞在時間 τ との積である $E = P \times W_0 / Q$ は、必然的に 0.8×10^4 ($\text{sec} \cdot \text{W}/\text{m}^3$) 以下に設定される。

次に、ステップSC11において、第2の高周波電源22から試料台20に第2の高周波電力を印加して、生成されたプラズマを試料台20の上の半導体基板上に導入して、ステップSC12において、シリコン酸化膜の上に有機膜を堆積する。

尚、第1～第3の実施形態においては、フルオロカーボンガスとして、 C_2F_6

ガスを単独で用いたが、これに代えて、 C_4F_8 ガス、 C_4F_6 ガス、 C_3F_8 ガス又は C_6F_6 ガスを単独で用いてもよしし、これらのガスの混合ガスを用いてもよい。

また、第3の実施形態においては、第1のフルオロカーボンガスと第2のフルオロカーボンガスとは同じガスであったが、第1のフルオロカーボンガスと第2のフルオロカーボンガスとは同じガスであってもよいし、異なるガスであってもよい。

また、第1～第3の実施形態においては、プラズマ処理装置としては、誘導結合型プラズマ処理装置を用いたが、これに代えて、ECRプラズマ処理装置又は面波励起型プラズマ処理装置等を用いることができる。

さらに、第1～第3の実施形態においては、ガス流量の制御は、マスフローコントローラ15の調整により行なったが、これに代えて、マスフローコントローラ15の調整と、圧力制御バルブ18及び排気ポンプ19の調整とのうちの少なくとも一方の調整により行なってもよい。また、フルオロカーボンガスの流量の調整は、プロセスガスに、不活性ガス、窒素ガス、一酸化炭素ガス又は二酸化炭素ガスを混合すると共に、これらのガスの流量を調整することにより行なってもよい。

【請求の範囲】

1. プラズマ処理方法は、

プラズマ処理装置の反応室の内部に、表面にシリコン酸化膜が形成された基板を設置する工程と、

前記反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを導入する工程と、

前記フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成し、該プラズマを用いて前記シリコン酸化膜に対してエッチングを行なう工程とを備え、

前記フルオロカーボンガスの前記反応室における滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ （但し、 P は前記フルオロカーボンガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）であり、 Q は前記フルオロカーボンガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）を0.1(sec)よりも大きく且つ1(sec)以下に制御する。

2. 請求項1のプラズマ処理方法において、

前記フルオロカーボンガスは、 C_4F_8 ガス、 C_4F_6 ガス、 C_3F_8 ガス、 C_5F_8 ガス及び C_6F_8 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスである。

3. 請求項1のプラズマ処理方法において、

前記滞在時間 τ は、前記プラズマ処理装置に設けられたマスフローコントローラと、前記プラズマ処理装置に設けられたバルブ及びポンプとのうちの少なくとも1つにより制御される。

4. プラズマ処理方法は、

プラズマ処理装置の反応室の内部に、表面にシリコン酸化膜が形成された基板を設置する工程と、

前記反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを導入する工程と、

前記フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成し、該プラズマを用いて前記シリコン酸化膜に対してエッチングを行なう工程とを備え、

前記フルオロカーボンガスの前記反応室における滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ （但し、 P は前記フルオロカーボンガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）であり、 Q は前記フルオロカーボンガスの流量（単位：Pa・

L/sec) である。) と、前記プラズマを生成するために投入される電力の電力密度 $P_i = W_0 / V$ (但し、 W_0 は前記電力の大きさ (単位: W) であり、 V は前記反応室の容積 (単位: L) である。) との積である $P \times W_0 / Q$ の値を 0.8×10^4 (sec · W/m³) よりも大きく且つ 8×10^4 (sec · W/m³) 以下に制御する。

5. 請求項4のプラズマ処理方法において、

前記フルオロカーボンガスは、 C_4F_8 ガス、 C_4F_6 ガス、 C_3F_8 ガス、 C_5F_8 ガス及び C_6F_8 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスである。

6. 請求項4のプラズマ処理方法において、

前記滞在時間 τ は、前記プラズマ処理装置に設けられたマスフローコントローラと、前記プラズマ処理装置に設けられたバルブ及びポンプとのうちの少なくとも1つにより制御される。

7. プラズマ処理方法は、

プラズマ処理装置の反応室の内部に基板を設置する工程と、

前記反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを導入する工程と、

前記フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成し、該プラズマを用いて前記基板上に有機膜を堆積する工程とを備え、

前記フルオロカーボンガスの滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ (但し、 P は前記フルオロカーボンガスの圧力 (単位: Pa) であり、 V は前記反応室の容積 (単位: L) であり、 Q は前記フルオロカーボンガスの流量 (単位: Pa · L/sec) である。) を0.1(sec) 以下に制御する。

8. 請求項7のプラズマ処理方法において、

前記フルオロカーボンガスは、 C_4F_8 ガス、 C_4F_6 ガス、 C_3F_8 ガス、 C_5F_8 ガス及び C_6F_8 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスである。

9. 請求項7のプラズマ処理方法において、

前記滞在時間 τ は、前記プラズマ処理装置に設けられたマスフローコントローラと、前記プラズマ処理装置に設けられたバルブ及びポンプとのうちの少なくとも1つにより制御される。

10. プラズマ処理方法は、

プラズマ処理装置の反応室の内部に基板を設置する工程と、

前記反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを導入する工程と、

前記フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成し、該プラズマを用いて前記基板上に有機膜を堆積する工程とを備え、

前記フルオロカーボンガスの滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ （但し、 P は前記フルオロカーボンガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）であり、 Q は前記フルオロカーボンガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）と、前記プラズマを生成するために投入される電力の電力密度 $P_i = W_0 / V$ （但し、 W_0 は前記電力の大きさ（単位：W）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）である。）との積である $P \times W_0 / Q$ の値を 0.8×10^4 （sec・W/m³）以下に制御する。

11. 請求項10のプラズマ処理方法において、

前記フルオロカーボンガスは、 C_4F_8 ガス、 C_4F_6 ガス、 C_3F_8 ガス、 C_2F_6 ガス及び C_2F_4 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスである。

12. 請求項10のプラズマ処理方法において、

前記滞在時間 τ は、前記プラズマ処理装置に設けられたマスフローコントローラと、前記プラズマ処理装置に設けられたバルブ及びポンプとのうちの少なくとも1つにより制御される。

13. プラズマ処理方法は、

プラズマ処理装置の反応室の内部に、表面にシリコン酸化膜が形成された基板を設置する工程と、

前記反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上である第1のフルオロカーボンガスを導入する工程と、

前記第1のフルオロカーボンガスからなる第1のプラズマを生成し、該第1のプラズマを用いて前記シリコン酸化膜に対してエッチングを行なう工程と、

前記反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上である第2のフルオロカーボンガスを導入する工程と、

前記第2のフルオロカーボンガスからなる第2のプラズマを生成し、該第2のプラズマを用いて、エッチングが完了した前記シリコン酸化膜の上に有機膜を堆積する工程とを備え、

前記第1のフルオロカーボンガスの前記反応室における第1の滞在時間 $\tau_1 = P_1 \times V / Q_1$ （但し、 P_1 は前記第1のフルオロカーボンガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）であり、 Q_1 は前記第1のフルオロカーボンガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）を0.1(sec)よりも大きく且つ1(sec)以下に制御し、

前記第2のフルオロカーボンガスの前記反応室における第2の滞在時間 $\tau_2 = P_2 \times V / Q_2$ （但し、 P_2 は前記第2のフルオロカーボンガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）であり、 Q_2 は前記第2のフルオロカーボンガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）を0.1(sec)以下に制御する。

14. 請求項13のプラズマ処理方法において、

前記第1のフルオロカーボンガスは、 C_4F_8 ガス、 C_4F_6 ガス、 C_3F_8 ガス、 C_3F_6 ガス及び C_2F_6 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスであり、

前記第2のフルオロカーボンガスは、 C_4F_8 ガス、 C_3F_8 ガス、 C_3F_6 ガス及び C_2F_6 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスである。

15. 請求項13のプラズマ処理方法において、

前記第1の滞在時間 τ_1 及び前記第2の滞在時間 τ_2 は、前記プラズマ処理装置に設けられたマスフローコントローラと、前記プラズマ処理装置に設けられたバルブ及びポンプとのうちの少なくとも1つによりそれぞれ制御される。

16. プラズマ処理方法は、

プラズマ処理装置の反応室の内部に、表面にシリコン酸化膜が形成された基板を設置する工程と、

前記反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上である第1のフルオロカーボンガスを導入する工程と、

前記第1のフルオロカーボンガスからなる第1のプラズマを生成し、該第1のプラズマを用いて前記シリコン酸化膜に対してエッチングを行なう工程と、

前記反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上である第2のフルオロカーボンガスを導入する工程と、

前記第2のフルオロカーボンガスからなる第2のプラズマを生成し、該第2のプラズマを用いて、エッチングが完了した前記シリコン酸化膜の上に有機膜を堆積する工程とを備え、

前記第1のフルオロカーボンガスの前記反応室における第1の滞在時間 $\tau_1 = P_1 \times V / Q_1$ （但し、 P_1 は前記第1のフルオロカーボンガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）であり、 Q_1 は前記第1のフルオロカーボンガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）と、前記第1のプラズマを生成するために投入される第1の電力の電力密度 $P_{i1} = W_1 / V$ （但し、 W_1 は前記第1の電力の大きさ（単位：W）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）である。）との第1の積である $P_1 \times W_1 / Q_1$ の値を 0.8×10^4 （sec・W/m³）よりも大きく且つ 8×10^4 （sec・W/m³）以下に制御し、

前記第2のフルオロカーボンガスの前記反応室における第2の滞在時間 $\tau_2 = P_2 \times V / Q_2$ （但し、 P_2 は前記第2のフルオロカーボンガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）であり、 Q_2 は前記第2のフルオロカーボンガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）と、前記第2のプラズマを生成するために投入される第2の電力の電力密度 $P_{i2} = W_2 / V$ （但し、 W_2 は前記第2の電力の大きさ（単位：W）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）である。）との第2の積である $P_2 \times W_2 / Q_2$ の値を 0.8×10^4 （sec・W/m³）以下に制御する。

17. 請求項16のプラズマ処理方法において、

前記第1のフルオロカーボンガスは、 C_4F_8 ガス、 C_4F_6 ガス、 C_3F_8 ガス、 C_5F_8 ガス及び C_6F_8 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスであり、

前記第2のフルオロカーボンガスは、 C_4F_8 ガス、 C_3F_8 ガス、 C_5F_8 ガス及び C_6F_8 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスである。

18. 請求項16のプラズマ処理方法において、

前記第1の滞在時間 τ_1 及び前記第2の滞在時間 τ_2 は、前記プラズマ処理装

置に設けられたマスフローコントローラと、前記プラズマ処理装置に設けられたバルブ及びポンプとのうちの少なくとも1つによりそれぞれ制御される。

【アブストラクト】

プラズマ処理装置の反応室内に、シリコン酸化膜が形成されていると共に該シリコン酸化膜の上にレジスト膜が形成されている半導体基板を設置した後、反応室内に、C/F比が0.5以上であるフルオロカーボンガスを導入する。この場合、 $\tau = P \times V / Q$ （但し、 τ は反応室におけるガスの滞在時間（単位：sec）であり、 P はガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は反応室の容積（単位：L）であり、 Q はガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）の関係式を用いて、滞在時間 τ が0.1（sec）よりも小さく且つ1（sec）以上になるように、ガス流量を制御する。次に、フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成して、レジスト膜をマスクにしてシリコン酸化膜に対してプラズマエッチングを行なう。

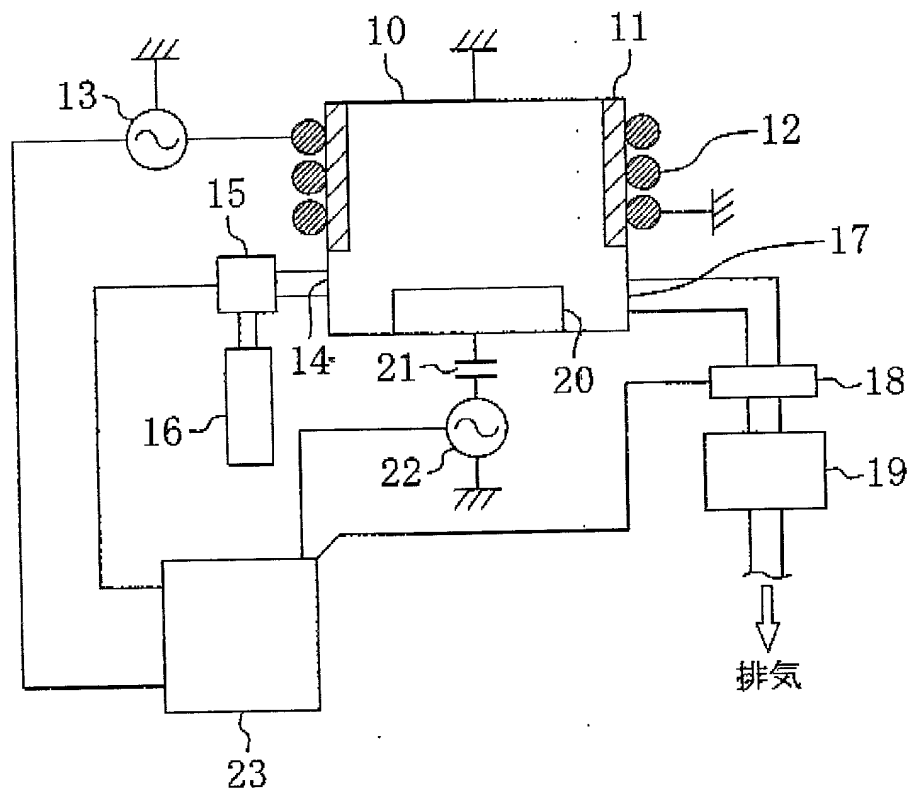


図2

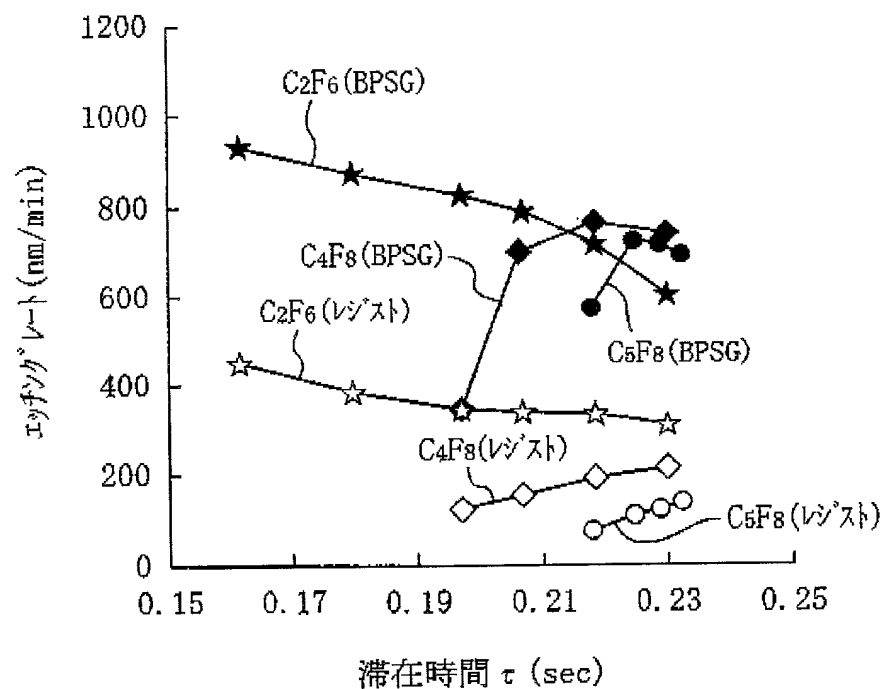
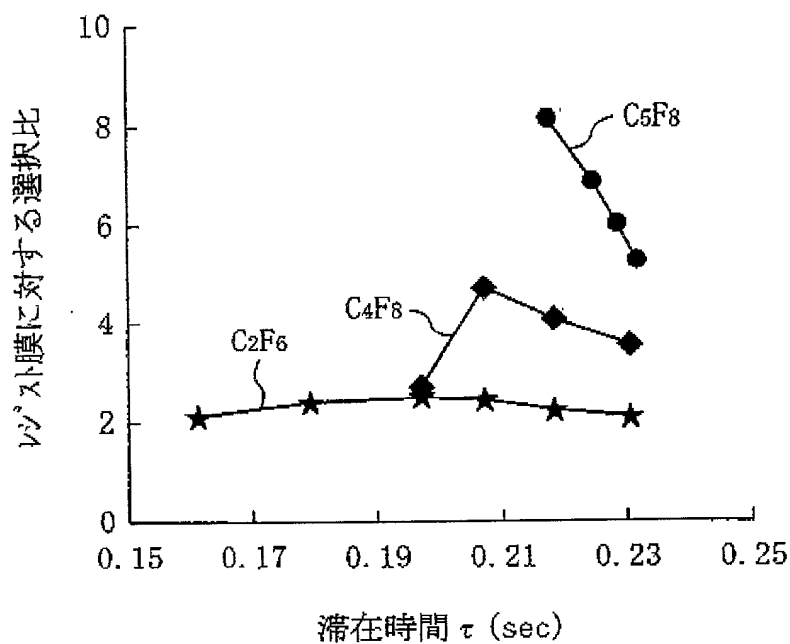


図3



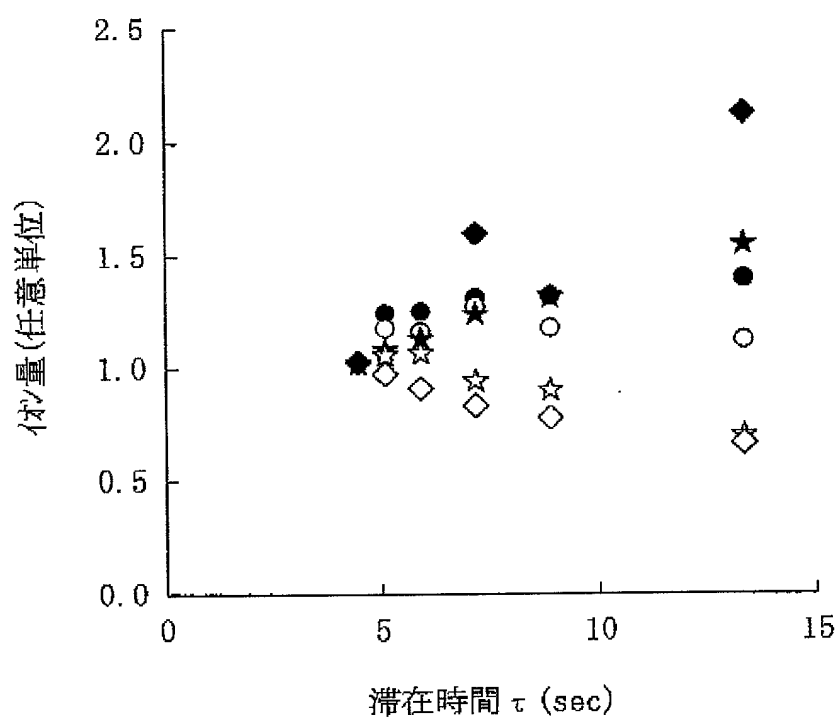


図5

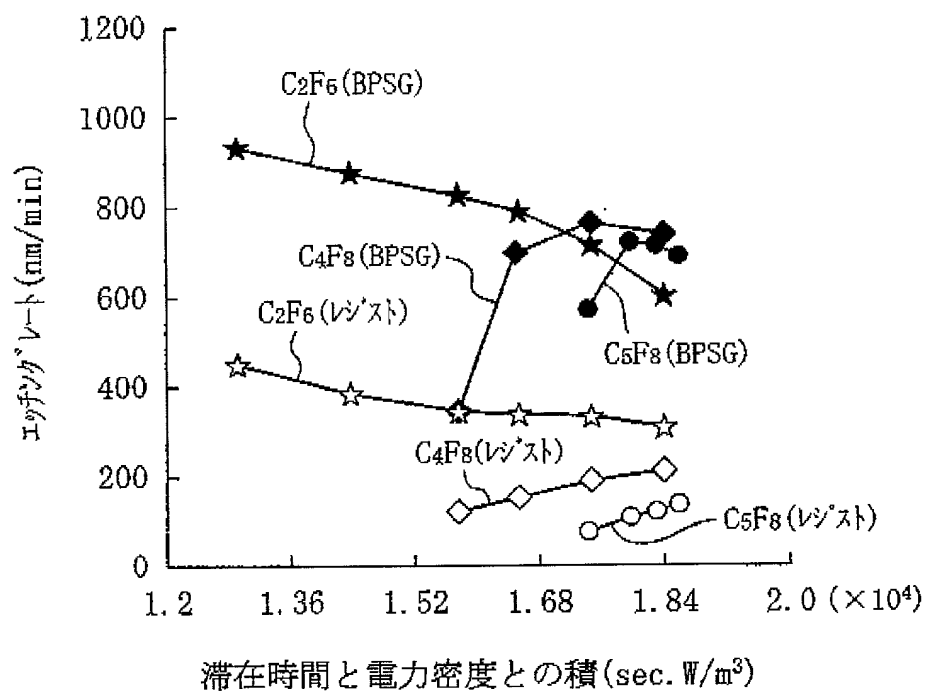


図6

